

长期施肥磷素盈亏及其对土壤磷素状况的影响

杨学云¹, 孙本华¹, 古巧珍¹, 李生秀¹, 郝兴顺²

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100; 2. 汉中市农科所, 陕西汉中 723002)

摘要: 利用 12 年长期定位试验研究了长期施肥不同处理土壤磷素去向和盈亏(平衡)及其对耕层土壤全磷、Olsen P 的影响, 结果表明, 作物吸磷量随施磷量的增加而有所增加, 作物对磷的利用有奢侈吸收现象; 土壤耕层全磷、Olsen P 及其增加量与土壤磷素盈亏呈极显著直线正相关; 随肥料施入土壤的磷主要累积在土壤耕层(0~20 cm), 施肥过高, 特别是化肥配合有机肥施用会引起磷向土壤剖面下层淋移, M1NPK、M2NPK、SNPK、NPK 和 PK 处理分别有 34.7、33.0、2.2、8.8 和 6.4% 的磷在 100 cm 土体内去向不明, 有可能被淋洗到更深的土体中。长期不平衡或大量施磷, 磷累积表观利用率低于 15%, 而平衡施肥, 可以达到 40% 以上。

关键词: Olsen-磷; 全磷; 磷素盈亏; 磷表观利用率

中图分类号: S143.2

文献标识码: A

文章编号: 1004-1389(2007)05-0118-06

Phosphorus Balances and Its Effects on Soil Phosphorus Status under a 12-year Long-term Fertilization

YANG Xue-yun¹, SUN Ben-hua¹, GU Qiao-zhen¹, LI Sheng-xiu¹ and HAO Xing-shun²

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling Shaanxi 712100, China;

2. Hanzhong Institute of Agricultural Sciences, Hanzhong Shaanxi 723002, China)

Abstract: This study investigated soil phosphorus balance, soil total phosphorus and available phosphorus at plough layers (0~20 cm) following a long-term fertilizer experiment of 12 years. The results showed that amounts of phosphorus uptake by crop increased with the increase of phosphorus application, a luxury uptake of P by crop was observed. Total P, Olsen-P and their increment caused by P applying were significantly and positively linear correlated with soil P balances. The applied fertilizer P was mostly retained in the plough layer. However, in the treatments of over-fertilized with phosphorus (Chemical fertilizer P combined with manure) led to P moving to the deeper soil layers. The unaccounted P within 100 cm depth was 34.7, 33.0, 2.2, 8.8 and 6.4 % for the treatments of M2NPK, M1NPK, SNPK, NPK and PK, which probably leached down to the deeper soil layers. Apparent P use efficiency was less than 15%, under over-fertilized or imbalance fertilized treatments whereas it was improved up to above 40% for balanced fertilization.

Key words: Olsen-P; Total P; Phosphorus balance; Apparent P use efficiency

研究表明,在磷素肥力相对较高的土壤上作物对施用磷肥的反应高于低肥力土壤^[1],肥料投入的盈余对提高土壤肥力,增加土地生产力至关重要。同时由于磷肥利用率较低,因此在生产实

践中磷素投入都大大高于作物需要,特别是有机肥大多基于氮肥推荐,磷素盈余更加可观。一般认为土壤对磷有强大的固定能力,磷没有损失或其损失对农业生产不重要^[2],近年来,越来越多的

收稿日期:2006-10-17 修回日期:2007-04-05

基金项目:国家重点基础研究发展计划(编号:2005CB121102)资助;西北农林科技大学 2006 年校专项基金资助。

作者简介:杨学云(1967—),男,宁夏青铜峡市人,博士,副教授,主要从事土壤肥力监测与环境研究。E-mail: xueyunyang@nwsuaf.edu.cn

证据显示,地表水体污染在很大程度上来源于农业面源污染^[3,4]。磷素向水体迁移的主要途径是地表径流和土壤侵蚀,在一定条件下,磷的淋溶损失对环境也会构成严重威胁^[5]。磷素损失与土壤、环境条件、耕作管理、作物等诸多因素有关,尤其与磷素富集关系更加密切。因此,有必要重新评价现有的施肥体系,将土地生产力与环境容量纳入同样的高度来考虑。

磷素平衡研究报道较多^[6~8],长期施肥条件下磷素盈亏对土壤磷素累积有什么样的影响?能否从磷素平衡中找到磷素损失的证据?国内外也对此有一些研究^[9,10],但报道不多,塋土地区尤为少见。本文试图在这方面作些有益的探索,为本区域磷的合理管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本研究在国家黄土肥力与肥料效益监测基地进行。试验站设在陕西省杨凌示范区五泉镇(N 34° 17'51",E 108° 00'48",海拔 516 m),供试土壤属褐土类塋土亚类,红油土属,厚层红油土种,黄土母质。试验开始前,种植了三季作物进行了进一步匀地,其中最后一季玉米作为青贮饲料收获,然后按照试验区多点采集基础土样保存并进行基本理化性质分析。试验开始时耕层土壤的基本理化性状为:有机质(10.92±0.50) g·kg⁻¹(平均值±标准差,下同),全氮(N)(0.83±0.03) g·kg⁻¹,全磷(P)(0.61±0.01) g·kg⁻¹,全钾(K)(22.8±0.92) g·kg⁻¹,碱解氮(N)(61.3±3.08) mg·kg⁻¹,速效磷(P)(9.57±1.91) mg·kg⁻¹,速效钾(K)(191±6.34) mg·kg⁻¹,pH 8.62,容重 1.30 g·cm⁻³,孔隙度 49.6%,田

间持水量 21.1%。试验站详细情况见文献[11]。

1.2 试验设计

本试验有 6 个处理 ①不施肥(CK)、②磷钾(PK)、③氮磷钾(NPK)、④秸秆+氮磷钾(SNPK,S 代表秸秆)、⑤有机肥用量 1+氮磷钾(M1NPK,M 代表有机肥)、⑥有机肥用量 2+氮磷钾(M2NPK)。具体施肥量见表 1。秸秆用量自试验开始到 1998 年为 4 500 kg·hm⁻²小麦秸秆,1998~2004 年为当季处理④小区全部玉米秸秆,平均为 3700.0 kg·hm⁻²(变幅为 2629.0~5921.0 kg·hm⁻²),用铡刀切成约 3 cm 长的小段,秋播小麦时一次施入,随秸秆施入的 N、P、K 量每年平均分别约为:35.4、3.4、81.0 kg·hm⁻²,未计入施肥量。M1NPK 和 M2NPK 中 N 来自有机肥和无机肥的比例为 7:3,按含 N 量折合施用牛粪(亦为秋播小麦一次施入);M1NPK 处理 N、P、K 用量与其他处理相等;M2NPK 处理小麦季节的 N、P、K 用量均为其他处理的 1.5 倍,玉米则相等,处理⑤和处理⑥平均每年随有机肥施入的 P 分别约为 144、216 kg·hm⁻²,K 分别约为 210、315 kg·hm⁻²,随有机肥施入的磷钾量也未计入施肥量。小区面积为 196 m²(14 m×14 m),重复 1 次。试验始于 1990 年秋播小麦,实行冬小麦—夏玉米一年两熟制。氮肥为尿素,磷肥为过磷酸钙,钾肥为硫酸钾。小麦肥料在播前一次施入,玉米在播种后约一个月结合中耕施入。冬小麦 10 月上旬播种,品种为“小偃 6 号”,“陕 229”,“莱州 953”,从 1998 年起用“陕 253”;玉米为“陕单 9 号”,“陕 902”,1998 年以后为“高农一号”。小麦生长期內灌溉 2~3 次,每次灌水量为 90 mm 左右。玉米的灌溉根据降雨情况而定,每次灌水量也为 90 mm 左右。

表 1 试验处理与施肥量
Table 1 Treatments and rates of fertilizers

处理 Treatments	施肥量 Rates of fertilizers /(kg·hm ⁻²)					
	冬小麦 Winter wheat			夏玉米 Summer maize		
	N	P	K	N	P	K
CK	0	0	0	0	0	0
PK	0	57.6	68.5	0	24.6	77.8
NPK	165.0	57.6	68.5	187.5	24.6	77.8
SNPK	165.0	57.6	68.5	187.5	24.6	77.8
M1NPK	165.0	57.6	68.5	187.5	24.6	77.8
M2NPK	247.5	86.4	102.8	187.5	24.6	77.8

1.3 土壤取样

2002 年 6 月冬小麦收获后,用直径 4.5 cm 的土钻,在距离小区边界 1.5 m 的范围内(防止
万方数据

边际效应),沿对角线以 20 cm 每层取土壤剖面(0~100 cm)样 5 个;其他样品为当年小麦收获后多点取样。样品混合均匀,带回立即风干,手工拣去

根茬、动物残体和石块等杂物,研磨,过 2 mm 和 0.15 mm 筛备用。

1.4 分析测定方法

土壤速效磷(Olsen P) Olsen 法^[12];全磷:硝酸-氢氟酸-高氯酸消化^[13],钼锑钒比色法测定;含量均指风干土。

1.5 计算方法

随秸秆投入的养分按秸秆用量和当年作物秸秆养分含量计算,作物养分携出量按其籽粒和秸秆产量及对应的养分含量计算,没有分析结果的几个年份按其他年的平均值计算;由于牛粪中的磷含量 2001 年以前没有分析结果,按 2001~2003 年分析结果的平均值计算;磷素盈亏为磷的投入量减去收获物携出的磷量;剖面磷累积量 = $\Sigma(\text{层次全磷含量} \times \text{层次土壤体积} \times \text{土壤容重})$ (表层按 $1.25 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 20~100 cm 土层按 $1.3 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 计算)。

2 结果与讨论

2.1 长期施肥磷素盈亏

图 1 是本试验各个处理 11 年作物地上部分

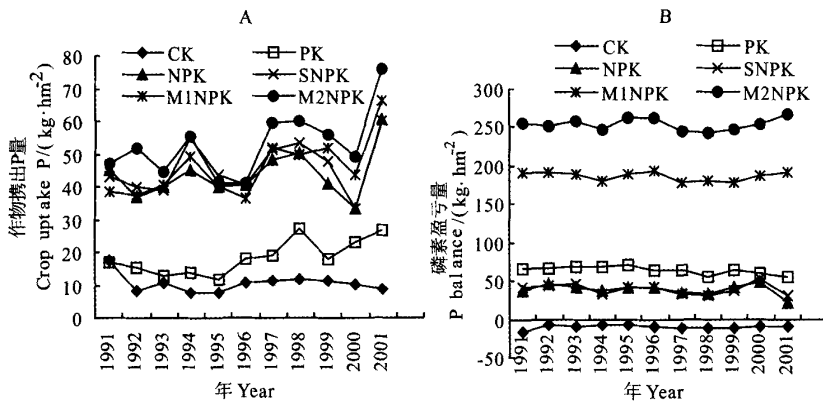


图 1 各处理作物携出磷量及磷素盈亏状况

Fig. 1 Phosphorus removed by crop and its balances of different treatments

2.2 长期施肥磷素盈亏对耕层土壤磷素状况的影响

有研究表明,土壤磷的消长与磷的盈亏呈正相关^[15],本试验结果与此一致。图 2 和图 3 显示了试验 6 年和 12 年耕层土壤全磷和速效磷(图 2)及其增加量(图 3)与磷盈亏的关系。可以看出,在第 6 年与第 12 年时,耕层土壤全磷和 Olsen P 含量或全磷与 Olsen P 的增加量与土壤磷素盈亏都呈极显著的直线正相关。需要说明的是所得到的方程在磷平衡(盈亏)为零时,1996 年和万方数据

携出磷量(图 1A)和磷素盈亏状况(图 1B)。对照处理作物携出磷量最低,基本稳定地维持在较低的水平,约为每年 $10 \text{ kg P} \cdot \text{hm}^{-2}$ (图 1A);PK 高于对照,并且随时间延长有增加的趋势;NPK、SNPK、M1NPK 三者依次升高,但非常接近,都大大高于 PK,约为后者的 2~2.5 倍;在所有处理中又以 M2NPK 处理作物携出磷量最高,约为 PK 处理的 2.5 倍以上。PK、NPK 磷的投入量相同,SNPK 由于秸秆中含有一定量的磷,投入量比前两者高约 3%,M1NPK 累积投入的磷比 NPK 高约 180%,M2NPK 最高,约为 NPK 的 3.7 倍;而 M1NPK 小麦和玉米总增产率较 SNPK 低,PK 比 CK 增产也只有 3.3%,M2NPK 与 SNPK 产量也很接近^[11],这表明作物对磷素存在一定的奢侈吸收现象。磷素投入高于作物吸收,就出现盈余。CK 处理作物吸收的磷素源自土壤本身,一直处于亏缺状态,其他处理磷素均有盈余(图 1B),其中 NPK、SNPK 盈余量基本一致而以后者略高,PK 处理高于 NPK 和 SNPK;施有机肥处理磷素投入大大高于作物携出,因而盈余最多,每年盈余量分别达到约 200 和 $250 \text{ kg P} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

2000 年全磷含量为分别为 692 和 $678 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图 2A、C),与试验起始时的土壤全磷含量(平均 $607 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)有较大出入;同样的,全磷增加量为 $70 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 左右(图 3A、C);与全磷含量相似,Olsen P 含量(图 2B、D)也出现了负值,显然在理论和实践上都难以理解。可能的原因是:其一,由于试验点数较少,尤其是磷素亏缺的点数只有一个(CK),为此,回归了本试验 5 年的 Olsen P 与磷盈亏数据(未列出),得到方程 $y = 0.1058x + 7.1629$, $R^2 = 0.9385$ (式中 y 为 Olsen P 含

量, $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; x 为磷平衡量, $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), 可以看出在磷盈亏量为 0 时 Olsen P 含量为 $7.16 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 与试验起始值 ($9.57 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 非常接近。其二, 是由于试验误差引起。比如对照处理全磷含量并非逐年降低, 而呈现波动式的下降, 而且降低量很小。在鲁如坤等^[15]的研究中也出现了同样的现象, 他们得到的全磷和有效磷增加

量的关系式分别为: $y_t = 0.0046 + 0.00066x_t$, $y_a = -4.47 + 1.08x_t$ (式中 y_t 为全磷消长, 百分比表示; y_a 为有效磷 (Olsen-P) 消长, mg/kg 表示; x_t 为磷素纯收支)。可以看到当磷素纯收支为 0 时, 全磷增长为 $46 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 而 Olsen P 增长为负值, 但作者没有作进一步的说明。

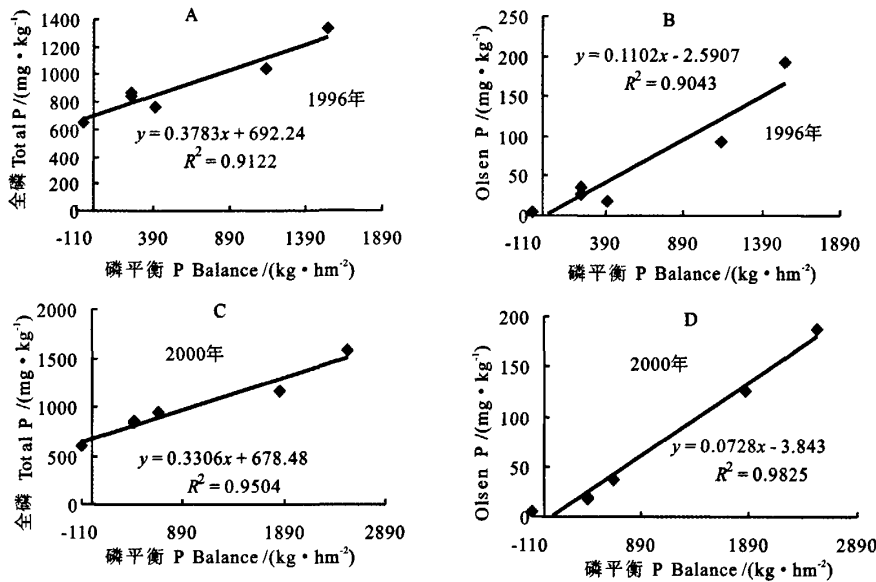


图 2 磷素盈亏对土壤耕层全磷和有效磷的影响

Fig. 2 Effects of phosphorus balance on soil total P and Olsen P of plough layers

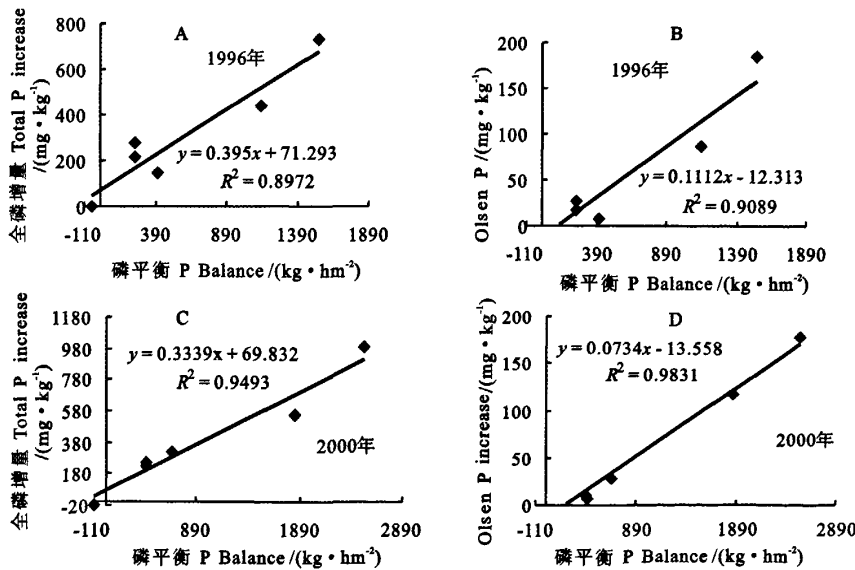


图 3 磷素盈亏对土壤耕层全磷和有效磷增加量的影响

Fig. 3 Effects of phosphorus balance on increase of soil total P and Olsen P of plough layers

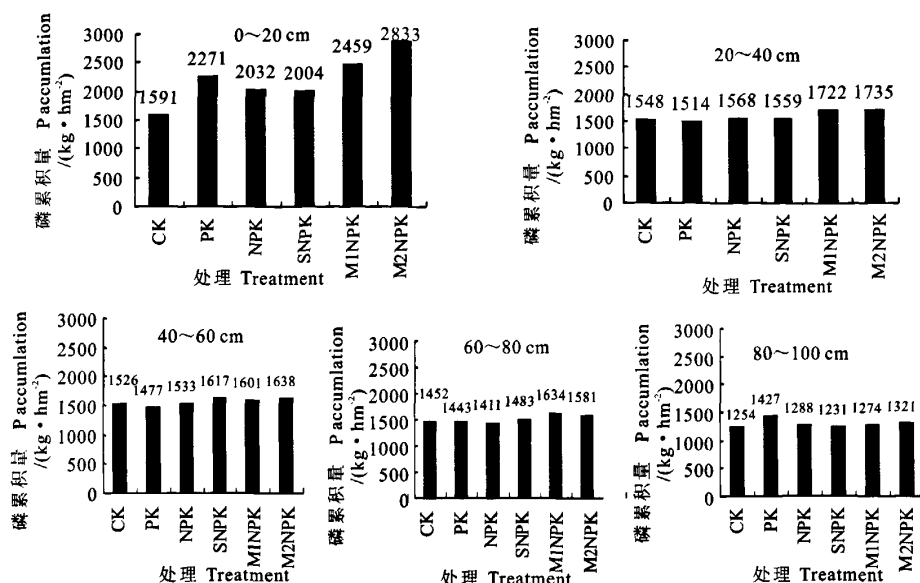


图 4 0~100 cm 土体各土层磷素累积量

Fig. 4 Amount of phosphorus accumulated in different soil layers

2.3 不同磷素盈亏下土壤剖面磷素累积

磷素平衡(盈亏)量与磷素在耕层的累积有正相关关系,是否所有磷均累积在耕层呢?剖面中磷的累积量在一定程度上可以说明这个问题。图 4 是各处理 0~100 cm 土壤剖面磷素的累积量,可以看到所有处理耕层土壤中磷的累积量都高于对照处理(CK)约 26 % 以上(SNPK,图 4),其中又以施有机肥的两个处理(M1NPK、M2NPK)最

高,分别比 CK 高 54.6%、78.0%,且在 0~100 cm 都高于 CK 处理;SNPK 在 60 cm 以上高于 CK,以下与之接近;NPK 处理 20 cm 以下与 CK 基本接近;PK 在 0~20 cm 和 80~100 cm 分别比 CK 高约 43%和 14%,在 80~100 cm 土层高于其他几个处理。以上说明,在磷素投入较多的高于作物携出量时,尤其是在大量施用有机肥时,磷素会向土壤深层移动。

表 2 施磷处理磷素平衡、累积和表观利用率

Table2 Phosphorus balance, accumulation in 1 m soil profile and cumulated apparent use efficiency for treatments received fertilizer P

处理 Treatments	磷投入 P input	磷携出 P uptake	磷平衡 P balance	1 米土体净累积磷 [§] Net P accumulation in 1m soil profile	未知去向磷 [‡] Unaccounted P	占投入 (Ratios of Unaccounted P to P input)/%	P 累积表观利用率 [*] Cumulated apparent P use efficiency /%
PK	904.2	202.6	+701.6	759.5	58.3	6.4	9.6
NPK	904.2	481.9	+422.3	458.7	79.7	8.8	40.5
SNPK	931.6	506.5	+425.1	521.0	20.3	2.2	41.9
M1NPK	2547.0	504.4	+2042.6	1318.2	840.5	33.0	15.2
M2NPK	3370.4	582.3	+2788.1	1735.6	1168.6	34.7	13.8

注: §. 1 米土体净累积磷=各处理 0~100 cm 土体累积磷量-对照 0~100 cm 土体累积磷量; ‡. 未知去向磷=某处理磷总投入量-(该处理作物携出磷总量-对照作物携出磷总量)-1 米土体净累积磷量; *. P 累积表观利用率(%)=(某处理作物累积携出磷量-对照作物累积携出磷量)/某处理磷累积投入量×100。

Note: §. Net P accumulation in 1m soil depth = P cumulated in 1 m soil depth for a treatment - P cumulated in 1 m soil depth in control treatment; ‡. Unaccounted P = P input - (P uptake - P uptake from control) - Net P accumulation in 1 m soil profile; *. Cumulated apparent P use efficiency (%) = (Total P uptake for a specific treatment - Total P uptake for CK) / Total P input for the treatment.

表 2 为试验 12 年(23 料作物)磷素平衡状况, NPK 及 NPK 配合有机物料施用的处理其作物携出磷量为 PK 处理的 2.5(NPK)到约 3.0 倍(M2NPK)。NPK 处理磷盈余最小,SNPK 与 NPK 基本相当,PK 处理磷盈余高于 NPK 和

SNPK 约 60%以上,施有机肥的两个处理分别为 NPK 的 4.8 和 6.6 倍。1 m 土体中磷的净累积量以 M2NPK 为最高,M1NPK 处理次之,再次为 PK,NPK 最低。M2NPK、M1NPK、SNPK、NPK 和 PK 处理分别有 34.7、33.0、2.2、8.8 和 6.4%

的磷去向不明。据估计, 粘质土壤年施磷量为 40 kg/cm^2 (污水) 120 年到 153 年土壤剖面磷吸附量才能达到饱和^[15]。James 等^[16]报道了美国石灰性土壤固定有机肥磷素的能力极大。这表明磷素向下的移动极其困难。与之相反, Eghball 等^[17]的研究表明施用有机肥磷可以淋移到地下水, 特别是在地下水位较浅的地区。英国洛桑试验站 (Rothamsted) 平衡研究表明, 施有机肥加氮肥处理 (FYM + N₂)、PK、N₄PK、N₂PK 处理分别有 24、43、46 和 12% 的磷素不能用 0~69 cm 土壤剖面中的全磷量解释, 认为可能的解释是磷的损失^[18]。本试验的结果也支持这一观点。

M₂NPK、M₁NPK、SNPK、NPK 和 PK 处理种植 23 季作物后磷素累积表观利用率分别为 13.8、15.2、41.9、40.5 和 9.6%, 过量施磷 (本文的有机肥处理) 和不平衡施肥 (PK) 磷的累积表观利用率在 15% 以下, 而平衡施肥 (NPK、SNPK) 则可以达到 40%。

事实上, 磷素平衡只能提供一个概况。因为其误差相对较大, 包括土壤、植物样取样误差, 分析误差, 地力不均衡 (磷空间分布的变异), 计算时土壤容重与实际不相符合等等因素。但另一方面, 长期试验所提供的研究结果相对来说是较为可靠的。

4 结论

作物吸磷量随磷素施用量的增加而有所增加, 作物对磷素的利用存在奢侈吸收现象, 但奢侈吸收的量相对于施肥量而言不大; 作物吸收的磷素低于磷肥施用量时, 磷素出现盈余, 导致土壤中磷素累积, 随肥料施入土壤的磷主要累积在土壤耕层 (0~20 cm); 随磷素累积量的增加, 土壤全磷和 Olsen 磷也因之升高, 其含量或其增加量与土壤磷素盈亏有极显著直线正相关。长期不平衡施肥或大量施磷, 导致磷素利用率降低, 其累积表观利用率低于 15%, 而平衡施肥, 可以高达 40% 以上。施肥过高, 特别是化肥配合有机肥施用会引起磷向土壤剖面下层淋移, 在地下水位浅的地区有可能造成水体污染。

参考文献:

- [1] Johnston A E. Soil and Plant phosphate[M]. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2000 27~29.
- [2] Sharpley A N, Menzel R G. The impact of soil and fertilizer phosphorus on the environment [J]. *Advances in Agronomy*, 1987, 41: 297~324.

- [3] USEPA. Environmental indicators of water quality in the United States[R]. EPA 841-R-96-002. USEPA, 1996.
- [4] Parry R. Agricultural phosphorus and water quality: A U. S. Environmental Protection Agency perspective [J]. *J. Environ. Qual.*, 1998, 27: 258~261.
- [5] Heckrath G., Brookes P C, Poulton P R. *et al.* Phosphorus leaching from soils containing different phosphorus concentrations in the Broadbalk experiment [J]. *J. Environ. Qual.*, 1995, 24: 904~910.
- [6] 林葆, 林继雄, 李家康. 长期施肥的作物产量和土壤肥力变化[A]. 林葆, 林继雄, 李家康主编. 全国化肥试验网论文汇编: 长期施肥的作物产量和土壤肥力变化[C]. 北京: 中国农业出版社, 1996. 1~12.
- [7] 刘杏兰, 高宗, 司立征, 等. 有-无机肥配施的增产效应及对土壤肥力影响的定位研究[A]. 林葆, 林继雄, 李家康主编. 全国化肥试验网论文汇编: 长期施肥的作物产量和土壤肥力变化[C]. 北京: 中国农业出版社, 1996. 160~165.
- [8] 熊俊芬, 石孝均, 毛耘. 长期定位施肥对紫色土磷素的影响[J]. *云南农业大学学报*, 2000, 15(2): 99~101.
- [9] 潘根兴, 焦少俊, 李恋卿, 等. 低施磷水平下不同施肥对太湖地区黄泥土磷迁移性的影响[J]. *环境科学*, 2003, 24(3): 91~95.
- [10] Joann K, Whalen C C. Phosphorus accumulation in cultivated soils from long-term annual applications of cattle feedlot manure[J]. *J. Environ. Qual.*, 2001, 30: 229~237.
- [11] 杨学云, 孙本华, 马路军, 等. 黄土施肥效应与肥力演变的长期定位监测研究 I 长期施肥的产量效应[J]. *植物营养与肥料学报*, 2002, 8(增刊): 66~70.
- [12] Kuo S. Phosphorus[A]. Sparks D L, Page A L. *Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods*[C]. Wisconsin: Madison, 1996. 869~919.
- [13] Ove Emteryd. Chemical and physical analysis of inorganic nutrients in plant, soil, and air [M]. Second edition. Umea, Sweden: Grafiska Enheten, SLU. 2002. 29~32
- [14] 鲁如坤, 史陶钧. 土壤磷素在利用过程中的消耗与累积[J]. *土壤通报*, 1980, (5): 6~8.
- [15] Lutwick G. W, Graveland D N. A study of the phosphorus adsorption capacities of several southern Alberta soils. Tech. Report[R]. Alberta Environment Technical Development Branch. Edmonton. AB, Canada. 1978.
- [16] James D W, Kotuby~Amacher J, Anderson G L, *et al.* Phosphorus mobility in calcareous soils under heavy manuring[J]. *J. Environ. Qual.*, 1996, 25: 770~775.
- [17] Eghball B, Binford G D, Baltensperger D D. Phosphorus movement and adsorption in a soil receiving long-term manure and fertilizer application[J]. *J. Environ. Qual.*, 1996, (25): 1339~1343.
- [18] Heckrath G. J. Phosphorus accumulation and leaching in clay loam soils of the Broadbalk experiment. [D]. Harpenden: IACR Rothamsted, 1998. 21~31.

长期施肥磷素盈亏及其对土壤磷素状况的影响

作者：[杨学云](#)，[孙本华](#)，[古巧珍](#)，[李生秀](#)，[郝兴顺](#)，[YANG Xue-yun](#)，[SUN Ben-hua](#)，[GU Qiao-zhen](#)，[LI Sheng-xiu](#)，[HAO Xing-shun](#)

作者单位：[杨学云, 孙本华, 古巧珍, 李生秀, YANG Xue-yun, SUN Ben-hua, GU Qiao-zhen, LI Sheng-xiu\(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌, 712100\)](#)，[郝兴顺, HAO Xing-shun\(汉中市农科所, 陕西汉中, 723002\)](#)

刊名：[西北农业学报](#) **ISTIC** **PKU**

英文刊名：[ACTA AGRICULTURAE BOREALI-OccIDENTALIS SINICA](#)

年，卷(期)：2007, 16(5)

被引用次数：15次

参考文献(18条)

1. [Johnston A E](#) [Soil and Plant phosphate](#) 2000
2. [Sharpley A N;Menzel R G](#) [The impact of soil and fertilizer phosphorus on the environment](#) 1987
3. [USEPA](#) [Environmental indicators of water quality in the United States\[EPA 841-R-96-002.USEPA\]](#) 1996
4. [Parry R](#) [Agricultural phosphorus and water quality:A U.S.Environmental Protection Agency perspective](#) 1998
5. [Heckrath G;Brookes P C;Poulton P R](#) [Phosphorus leaching from soils containing different phosphorus concentrations in the Broadbalk experiment](#) 1995
6. [林葆;林继雄;李家康](#) [长期施肥的作物产量和土壤肥力变化](#) 1996
7. [刘杏兰;高宗;司立征](#) [有-无机肥配施的增产效应及对土壤肥力影响的定位研究](#) 1996
8. [熊俊芬;石孝均;毛知耘](#) [长期定位施肥对紫色土磷素的影响](#)[期刊论文]-[云南农业大学学报](#) 2000(2)
9. [潘振兴;焦少俊;李恋卿;徐向东;邱多生;徐晓波;储秋华;赵洪祥](#) [低施磷水平下不同施肥对太湖地区黄泥土磷迁移性的影响](#)[期刊论文]-[环境科学](#) 2003(3)
10. [Joann K;Whalen C C](#) [Phosphorus accumulation in cultivated soils from long-term annual applications of cattle feedlot manure](#) 2001
11. [杨学云;孙本华;马路军](#) [黄土施肥效应与肥力演变的长期定位监测研究 I 长期施肥的产量效应](#) 2002(zk)
12. [Kuo S](#) [Phosphorus](#) 1996
13. [Ove Emteryd](#) [Chemical and physical analysis of inorganic nutrients in plant, soil, and air](#) 2002
14. [鲁如坤;史陶钧](#) [土壤磷素在利用过程中的消耗与累积](#) 1980(05)
15. [Lutwick G W;Graveland D N A](#) [A study of the phosphorus adsorption capacities of several southern Alberta soils](#) 1978
16. [James D W;Kotuby~Amacher J;Anderson G L](#) [Phosphorus mobility in calcareous soils under heavy manuring](#) 1996
17. [Eghball B;Binford G D;Baltensperger D D](#) [Phosphorus movement and adsorption in a soil receiving long-term manure and fertilizer application](#) 1996(25)
18. [Heckrath G J](#) [Phosphorus accumulation and leaching in clay loam soils of the Broadbalk experiment](#) 1998

本文读者也读过(10条)

1. [陆大雷;闫发宝;陆卫平.LU Da-lei.YAN Fa-bao.LU Wei-ping](#) [甜玉米磷素吸收利用的基因型差异](#)[期刊论文]-[扬州大学学报\(农业与生命科学版\)](#) 2010, 31(3)

2. [刘树堂](#), [张恩盈](#), [迟睿](#), [韩晓日](#), [隋方功](#), [LIU Shu-tang](#), [ZHANG En-ying](#), [CHI Rui](#), [HAN Xiao-ri](#), [SUI Fang-gong](#) 24年长期定位施肥对无石灰潮土磷素变化的影响[期刊论文]-[莱阳农学院学报](#)2005, 22(1)
3. [高瑞](#), [吕家珑](#), [张素霞](#), [GAO Rui](#), [LU Jia-Long](#), [ZHANG Su-xia](#) 长期施肥对土肥力及作物产量的影响[期刊论文]-[干旱地区农业研究](#)2006, 24(5)
4. [孙华](#), [熊德祥](#) 施用有机肥和溶磷细菌肥料对砂姜黑土磷素形态转化的影响[期刊论文]-[土壤通报](#)2002, 33(3)
5. [朱霞](#), [韩晓增](#), [乔云发](#), [李晓慧](#), [王守宇](#), [ZHU Xia](#), [HAN Xiao-zeng](#), [QIAO Yun-fa](#), [LI Xiao-hui](#), [WANG Shou-yu](#) 长期施肥对不同热量带土壤供氮能力的影响[期刊论文]-[华北农学报](#)2009, 24(5)
6. [李芳林](#), [郝明德](#), [李燕敏](#), [高长青](#), [LI Fang-lin](#), [HAO Ming-de](#), [LI Yan-min](#), [GAO Chang-qing](#) 黄土高原旱区长期施肥条件下土壤钾素形态空间分布特征及有效性研究[期刊论文]-[干旱地区农业研究](#)2009, 27(3)
7. [宋永林](#), [张淑香](#), [李小平](#), [王丽霞](#), [SONG Yong-lin](#), [ZHANG Shu-xiang](#), [LI Xiao-ping](#), [WANG Li-xia](#) 长期施肥对褐潮土磷、钾状况及速效供应能力的影响[期刊论文]-[华北农学报](#)2009, 24(z2)
8. [张亚洁](#), [杨建昌](#), [杜斌](#), [ZHANG Ya-Jie](#), [YANG Jian-Chang](#), [DU Bin](#) 种植方式对陆稻和水稻磷素吸收利用的影响[期刊论文]-[作物学报](#)2008, 34(1)
9. [纪雄辉](#), [郑圣先](#), [刘强](#), [鲁艳红](#), [JI Xiong-hui](#), [ZHENG Sheng-xian](#), [LIU Qiang](#), [LU Yan-hong](#) 施用有机肥对长江中游地区双季稻田磷素径流损失及水稻产量的影响[期刊论文]-[湖南农业大学学报（自然科学版）](#) 2006, 32(3)
10. [宋春](#), [韩晓增](#), [SONG Chun](#), [HAN Xiao-zeng](#) 不同土地利用下黑土磷素肥力特征的研究[期刊论文]-[土壤通报](#) 2007, 38(5)

引证文献(15条)

1. [崔政军](#), [吴兵](#), [令鹏](#), [张中凯](#), [剡斌](#), [李亚娇](#), [陈永军](#), [牛俊义](#) 氮磷配施对旱地油用亚麻氮素积累分配及产量的影响[期刊论文]-[甘肃农业大学学报](#) 2015(5)
2. [张丽](#), [任意](#), [展晓莹](#), [张淑香](#) 常规施肥条件下黑土磷盈亏及其有效磷的变化[期刊论文]-[核农学报](#) 2014(09)
3. [高小丽](#), [刘淑英](#), [王平](#), [苏小娟](#), [樊仙](#) 西北半干旱地区有机无机肥配施对胡麻养分吸收及产量构成的影响[期刊论文]-[西北农业学报](#) 2010(02)
4. [高小丽](#) 施肥对西北半干旱地区土壤养分、胡麻养分吸收及产量的影响[学位论文]硕士 2010
5. [项大力](#), [杨学云](#), [孙本华](#), [张树兰](#), [古巧珍](#) 灌溉水平对赤(土娄)土磷素淋失的影响[期刊论文]-[植物营养与肥料学报](#) 2010(01)
6. [宇万太](#), [姜子绍](#), [马强](#), [周桦](#) 不同施肥制度对作物产量及土壤磷素肥力的影响[期刊论文]-[中国生态农业学报](#) 2009(05)
7. [郭战玲](#), [寇长林](#), [杨占平](#), [马政华](#), [骆晓声](#), [沈阿林](#) 潮土区小麦高产与环境友好的磷肥施用量研究[期刊论文]-[河南农业科学](#) 2015(02)
8. [吕福堂](#), [张秀省](#), [董杰](#), [赵燕](#) 日光温室土壤磷素积累、淋移和形态组成变化研究[期刊论文]-[西北农业学报](#) 2010(02)
9. [曲均峰](#), [李菊梅](#), [戴建军](#), [徐明岗](#) 长期单施NK肥条件下几种典型土壤磷的演化[期刊论文]-[生态环境](#) 2008(05)
10. [覃勇荣](#), [刘旭辉](#), [曾忠良](#), [周春梅](#), [蓝崇钰](#) 石漠化生态恢复过程中土壤磷含量的比较研究[期刊论文]-[农业科学与技术\(英文版\)](#) 2008(03)
11. [王少先](#), [刘光荣](#), [罗奇卡](#), [刘秀梅](#), [王萍](#), [夏文建](#), [谢杰](#), [唐先干](#), [张保根](#), [漆林香](#) 稻田土壤磷素累积及其流失潜能研究进展[期刊论文]-[江西农业学报](#) 2012(12)
12. [裴瑞娜](#) 长期施肥下我国典型农田土壤有效磷对磷盈亏的响应[学位论文]硕士 2010
13. [王月立](#), [张翠翠](#), [马强](#), [周桦](#), [徐永刚](#), [姜春明](#), [宇万太](#) 不同施肥处理对潮棕壤磷素累积与剖面分布的影响[期刊论

文]-[土壤学报](#) 2013 (04)

14. [裴瑞娜, 杨生茂, 徐明岗, 樊廷录, 张会民](#) [长期施肥条件下黑垆土有效磷对磷盈亏的响应](#) [期刊论文]-[中国农业科学](#) 2010 (19)
15. [孔庆波](#) [基于GIS我国农田土壤磷素管理及磷肥需求预测研究](#) [学位论文] 博士 2008

引用本文格式: [杨学云, 孙本华, 古巧珍, 李生秀, 郝兴顺, YANG Xue-yun, SUN Ben-hua, GU Qiao-zhen, LI Sheng-xiu, HAO Xing-shun](#) [长期施肥磷素盈亏及其对土壤磷素状况的影响](#) [期刊论文]-[西北农业学报](#) 2007 (5)